



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ Patentschrift  
⑩ DE 197 10 716 C 2

⑤① Int. Cl.<sup>7</sup>:  
H 01 S 5/024  
H 01 L 23/473  
H 05 K 7/20

②① Aktenzeichen: 197 10 716.8-33  
②② Anmeldetag: 14. 3. 1997  
④③ Offenlegungstag: 24. 9. 1998  
④⑤ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 10. 5. 2001

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:  
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE  
  
⑦④ Vertreter:  
Dr. Münich & Kollegen, 80689 München

⑦⑦ Erfinder:  
Ebert, Thomas, Dipl.-Ing., 52072 Aachen, DE;  
Niehoff, Jörg, Dipl.-Ing., 52066 Aachen, DE

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

DE 1 95 06 093 A1  
DE 43 15 581 A1  
DE 43 15 580 A1

⑤④ Vorrichtung zum Kühlen von elektronischen Bauelementen

⑤⑦ Vorrichtung zum Kühlen von elektronischen Bauelementen, die als eine Mikrostrukturwärmesenke ausgebildet ist und eine Vielzahl von Einzelschichten aufweist und wenigstens

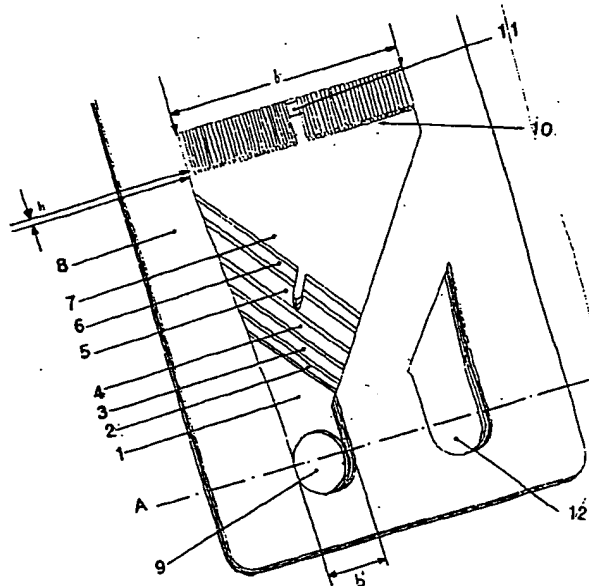
- eine Mikrokanalplatte (8) mit einer Vielzahl von Mikrokanälen (10),
- eine Zwischenplatte (3) und
- eine Sammelplatte (2),

vorsieht, wobei nach Aufeinanderfügen der Sammelplatte (2), Zwischenplatte (3) und Mikrokanalplatte (8) sowie dem Vorsehen einer, die Einzelschichten abdeckenden Grund- (1) und Deckelplatte (13), abgeschlossene Zu- und Ablauf-Kühlkanäle entstehen, durch die ein Kühlmedium leitbar ist, wobei das Kühlmedium durch eine Zulauföffnung (9) in die Mikrostrukturwärmesenke hineingeleitet und durch eine Ablauföffnung (12) aus dieser wieder hinausgeleitet wird,

wobei in der Grundplatte (1) die Zulauföffnung (9) vorgesehen ist, an die sich ein Zulauf-Kühlkanal anschließt, der einerseits durch die Grundplatte (1) und andererseits durch die Deckelplatte (13) sowie die dazwischen befindliche Sammelplatte (2), Zwischenplatte (3) und Mikrokanalplatte (8) begrenzt ist, wobei die Sammelplatte (2) sowie die Zwischenplatte (3) im Zulauf-Kühlkanal jeweils eine Öffnung als Verbindungskanal mit einer stufenhaften und/oder abgeschrägten Kante aufweisen, die die Höhe des Zulauf-Kühlkanals durch den Betrag ihrer Dicken verkleinern, und

die zwischen der Zwischenplatte (3) und Deckelplatte (13) eingebrachte Mikrokanalplatte (8) kammartig ausgebildete Mikrokanäle vorsieht, die unmittelbar an den durch die Mikrokanalplatte (8) und die Deckelplatte (13) begrenzten Zulauf-Kühlkanal anschließen, wobei ferner ein die Zwischenplatte (3) durchsetzender Durchgangskanal (11) vorgesehen ist, der unmittelbar an die kammartig ausgebildeten Mikrokanäle (10) angrenzt und in der Ebene der Sammelplatte (2) mündet, und im Anschluß an den Durchgangskanal (11) der Ablauf-Kühlkanal in der Ebene der Sammelplatte (2) durch die Zwischenplatte (3) und die Grundplatte (13) begrenzt ist, und wobei schließlich die Zwischenplatte (3) sowie die Mikrokanalplatte (8) im Ablauf-Kühlkanal jeweils eine weitere Öffnung als Verbindungskanal mit einer stufenhaften und/oder abgeschrägten Kante aufweisen, die die Höhe des Ablauf-Kühlkanals

durch den Betrag ihrer Dicken vergrößern, und in der Deckelplatte (13) die Ablauföffnung (12) vorgesehen ist, die sich an den Ablauf-Kühlkanal anschließt.



Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zum Kühlen von elektronischen Bauelementen, vorzugsweise Hochleistungslaserdioden, die als eine Mikrostrukturwärmesenke ausgebildet ist und eine Vielzahl von Einzelschichten aufweist und wenigstens eine Mikrokanalplatte mit einer Vielzahl von Mikrokanälen sowie einem Verteilerkanal, wenigstens eine Zwischenplatte mit einem oder mehreren Verbindungskanälen und wenigstens eine Sammelplatte mit einem oder mehreren Sammelkanälen vorsieht, wobei nach Aufeinanderfügen der Mikrokanalplatte, der Zwischenplatte und der Sammelplatte sowie dem Vorsehen einer die Einzelschichten abdeckende Deckel- und Grundplatte, abgeschlossene Kühlkanäle entstehen, durch die ein Kühlmedium leitbar ist, wobei das Kühlmedium durch eine Zulauföffnung in die Mikrostrukturwärmesenke hineingeleitet und durch eine Ablauföffnung aus dieser wieder hinausgeleitet wird.

Die vorstehend genannte Kühlvorrichtung ist insbesondere im Zusammenhang mit wärmeerzeugenden Hochleistungsbauelementen zu sehen, insbesondere Laserstrahlquellen, die derzeit an der Schwelle zu einem Generationswechsel hin zu preisgünstigen Halbleiterlasern mit höheren Wirkungsgraden stehen. Gaslaser- und Lampen-gepumpte Festkörperlaser werden in vielen Anwendungsbereichen abgelöst durch sogenannte Hochleistungsdiolaser, abgekürzt HLDL, sowie Dioden-gepumpte Festkörperlaser, abgekürzt DPSSL. Leistungsstarke Diodenlaser setzen eine effiziente Abfuhr der bei der Anregung des aktiven Mediums entstehenden Verlustwärme von ca. 60% voraus. Dazu werden sogenannte aktiv gekühlte, d. h. von Wasser als Kühlmedium durchflossene Mikrostrukturkühler eingesetzt, auf die der eigentliche Diodenlaserbarren aufgelötet wird. Die Geometrie zur Führung des Kühlwasserstroms innerhalb der Mikrostrukturkühler läßt sich dabei in folgende Abschnitte unterteilen:

- Die Zu- und Ablauföffnungen des Mikrostrukturkühlers, der in der Fachliteratur auch als Mikrokanalwärmesenke bezeichnet wird,
- denjenigen Teil, in dem der Großteil der Verlustwärme von dem Kühlkörper auf das Kühlwasser übertragen wird, im folgenden Mikrostruktur genannt, sowie
- diejenigen Strukturen, die die Zu- und Ablaufstellen mit den Mikrostrukturen verbinden, wie die sogenannten Versorgungsstrukturen oder Verbindungskanäle.

Aus der DE 43 15 580 A1 ist eine gattungsgemäße Mikrokanalwärmesenke beschrieben, die den vorstehend genannten Aufbau zeigt. Die aus einer Vielzahl von einzelnen Lagen bzw. Schichten bestehenden Kühlkörper sind vorzugsweise aus einzelnen strukturierten übereinander angeordneten, 300 µm starken Kupferfolien gefertigt, die in geeigneter Weise übereinander geschichtet und miteinander verschweißt sind.

Der maximal mit einem derartigen Mikrostrukturkühler abführbare Wärmestrom bei einer gegebenen Grenztemperatur für den Laserdiodenbarren hängt unter anderem stark von dem zur Verfügung stehenden Kühlwasserdurchsatz durch die Mikrostruktur ab.

Der Druckverlust über den Mikrostrukturkühler steigt in erster Näherung mit dem Quadrat der Durchflußmenge und ist entscheidend von der geometrischen Ausführung der Versorgungsstrukturen bzw. der Verbindungskanäle des Mikrokanalkühlers abhängig. Die Druckversorgung wird in der Regel durch externe Umwälzpumpen gewährleistet. Die äußeren Abmessungen des Mikrostrukturkühlers sind stark be-

grenzt und durch die entsprechende Größe der verwendeten Laserdioden bestimmt. Will man den Kühleffekt einer bekannten Mikrostrukturwärmesenke durch Steigerung der Kühlflüssigkeitsdurchsatzmenge erhöhen, so wird schnell die endliche Dichtigkeit des Kühlsystems erreicht, zumal Mikrostrukturkühler in an sich bekannter Weise aus einzelnen, übereinander gefügten Schichten bzw. Lagen zusammengesetzt sind deren gegenseitige Lagenverbindung nur eine endliche Festigkeit aufweist. Jede einzelne Lage bzw. Schicht der bekannten Mikrokanalwärmesenken weist eine festgelegte Schichtstärke auf und kann nur zweidimensional strukturiert werden. Erst durch die Schichtung verschiedener Lagen wird eine dreidimensionale Struktur erreicht, die sich jedoch durch scharfe Kanten und abrupte Übergänge in den Übergängen zwischen den einzelnen Lagen auszeichnet. Versuche zeigten, daß derartige scharfe Kanten und abrupte Übergänge 62% des Druckverlustes bei den herkömmlichen Wärmesenken ausmachen. Die restlichen Anteile des Druckverlustes fallen auf Stoßverluste, mit einem Beitrag von 26% und auf Reibungsverluste mit einem Beitrag von 13%.

Bei den herkömmlichen Mikrostrukturwärmesenken läßt sich bei einer Druckdifferenz über den Mikrostrukturkühler von 4 bar ein Kühlwasserdurchfluß von 500 ml pro Minute realisieren, wobei die maximale Wärmeabfuhr durch den Mikrostrukturkühler und damit die Laserleistung des Hochleistungsdiolaser deutlich begrenzt ist. Der Grund für die Durchfluß- und Leistungsbegrenzung liegt in der Gestaltung der Strömungsführung in der Versorgungsstruktur innerhalb des Mikrostrukturkühlers.

Den vorstehenden Nachteil weisen auch die Kühlvorrichtungen für Laserdioden gemäß der DE 43 15 581 A1 sowie DE 195 06 093 A1 auf.

So sieht das Kühlsystem der DE 43 15 581 A1 einen, als Deckelplatte ausgebildeten Kühlkörper vor, zwischen dessen einzelnen Kühlrippen Kühlflüssigkeit geleitet wird. Das in der DE 195 06 093 A1 dargestellte Kühlsystem besteht gemäß der Fig. 2 aus einer Vielzahl übereinander angeordnetes Einzelschichten, die in entsprechender Zusammensetzung einen, von einem Kühlmittel durchströmbar Strömungskanal einschließen. Jedoch treten innerhalb des Strömungskanal erhöhte Strömungsverluste auf, wodurch die Kühlwirkung des Systems, herabgesetzt ist.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Vorrichtung zum Kühlen von elektronischen Bauelementen, vorzugsweise Hochleistungslaserdioden, die als eine Mikrostrukturwärmesenke ausgebildet ist und eine Vielzahl von Einzelschichten aufweist und wenigstens eine Mikrokanalplatte mit einer Vielzahl von Mikrokanälen sowie einem Verteilerkanal, wenigstens eine Zwischenplatte mit einem oder mehreren Verbindungskanälen und wenigstens eine Sammelplatte mit einem oder mehreren Sammelkanälen vorsieht, wobei nach Aufeinanderfügen der Mikrokanalplatte, der Zwischenplatte und der Sammelplatte sowie dem Vorsehen einer die Einzelschichten abdeckenden Deckel- und Grundplatte, abgeschlossene Kühlkanäle entstehen, durch die ein Kühlmedium leitbar ist, wobei das Kühlmedium durch eine Zulauföffnung in die Mikrostrukturwärmesenke hineingeleitet und durch eine Ablauföffnung aus dieser wieder hinausgeleitet wird, derart weiterzubilden, daß bei Beibehaltung der äußeren Geometrie und unter Verwendung der bisher verwendeten Mikrostrukturen der Druckverlust, den das Kühlmedium beim Passieren durch die Mikrostrukturwärmesenke erfährt, erheblich gesenkt werden soll. Es soll unter Beibehaltung der bisher verwendeten Kühlaggregate der Durchfluß durch eine Wärmesenke erheblich gesteigert und der Wärmeübergangskoeffizient und damit der thermische Gesamtwiderstand wesentlich verbessert werden. Insbesondere soll an

der bisher verwendeten Lagentechnik zum Aufbau derartiger Mikrostrukturwärmenenke festgehalten werden.

Die Lösung der der Erfindung zugrundeliegenden Aufgabe ist im Anspruch 1 angegeben. Den Erfindungsgedanken vorteilhaft ausgestaltende Merkmale sind Gegenstand der Ansprüche 2 ff.

Erfindungsgemäß ist eine Vorrichtung der vorgenannten Gattung dadurch weitergebildet, daß in der Grundplatte die Zulauföffnung vorgesehen ist, daß sich an der Zulauföffnung ein Zulauf-Kühlkanal anschließt, der einerseits durch die Grundplatte und andererseits durch die Deckelplatte sowie die dazwischen befindliche Sammelplatte, Zwischenplatte und Mikrokanalplatte begrenzt ist, wobei die Sammelplatte sowie die Zwischenplatte im Zulauf-Kühlkanal jeweils eine Öffnung als Verbindungskanal mit einer stufenhaften und/oder abgeschrägten Kante aufweisen, die die Höhe des Zulauf-Kühlkanals durch den Betrag ihrer Dicken verkleinern. Zwischen der Zwischenplatte und Deckelplatte ist die Mikrokanalplatte eingebracht, die kammartig ausgebildete Mikrokanäle vorsieht, die unmittelbar an den durch die Mikrokanalplatte und die Deckelplatte begrenzten Zulauf-Kühlkanal anschließen. Ferner ist ein die Zwischenplatte durchsetzender Durchgangskanal vorgesehen, der unmittelbar an die kammartig ausgebildeten Mikrokanäle angrenzt und in der Ebene der Sammelplatte mündet. Im Anschluß an den Durchgangskanal ist der Ablauf-Kühlkanal in der Ebene der Sammelplatte durch die Zwischenplatte und die Grundplatte begrenzt. Schließlich weist Zwischenplatte sowie die Mikrokanalplatte im Ablauf-Kühlkanal jeweils eine weitere Öffnung als Verbindungskanal mit einer stufenhaften und/oder abgeschrägten Kante auf, die die Höhe des Ablauf-Kühlkanals durch den Betrag ihrer Dicken vergrößern. In der Deckelplatte ist letztlich die Ablauföffnung vorgesehen, die sich an den Ablauf-Kühlkanal anschließt.

Der Erfindung liegt insbesondere die Erkenntnis zugrunde, daß der größte Druckverlust, den die Kühlfüssigkeit beim Durchgang durch die Mikrostrukturwärmenenke erleidet, im Bereich der Verteilerstrukturen bzw. Verbindungskanäle auftritt. Erfindungsgemäß wird genau dieser Bereich der Mikrostrukturwärmenenke durch entsprechende Ausbildung der Zwischenplatte derart modifiziert, so daß die Zwischenplatte der die Mikrostrukturwärmenenke durchfließenden Kühlfüssigkeit eine Stufe entgegengesetzt, so daß der Strömungsquerschnitt durch den Verbindungskanal durch entsprechende Strukturierung der Zwischenplatte sukzessive vom großen Eintrittsquerschnitt hin zum Querschnitt der Mikrostruktur überführt wird. Bei Verwendung von mehr als einer Zwischenplatte, kann eine gleichmäßigere Anpassung der jeweiligen Querschnittsüberführung durch unterschiedliche Ausbildung der Zwischenplatten erfolgen.

Erfindungsgemäß sind wenigstens die Zwischenplatten derart strukturiert, daß sie Öffnungen aufweisen, die sogenannten Verbindungskanäle, durch die die Kühlfüssigkeit von einer Lage in die nächste der Mikrostrukturwärmenenke fließt und die wenigstens eine Übergangsstruktur in Form einer Kante vorsehen, die geradlinig oder gebogen ausgebildet ist. Die Öffnungsgröße sowie Form und Länge der Kante jeder einzelnen Zwischenplatte variiert von einer Zwischenplatte zur unmittelbar nächstliegenden Zwischenplatte in der Weise, daß Öffnungsgröße sowie Kantenform und -länge entweder schrittweise vergrößert oder verkleinert werden.

Im Falle der Strömungsquerschnittsreduzierung vom Eintrittsquerschnitt hin zum Mikrokanalquerschnitt wird der Strömungsquerschnitt von Lage zu Lage um jeweils die Dicke einer Zwischenplatte multipliziert mit der Länge der von der Kühlfüssigkeit überströmten Kante bzw. Übergangsstruktur reduziert.

Auch weisen vorzugsweise die Mikrokanalplatte sowie die Sammelplatte eine Übergangsstruktur auf, die entsprechend an die Übergangsstrukturen der obersten bzw. untersten Zwischenplatte angepaßt ist.

Ferner ist festgestellt worden, daß neben der sukzessiven Strömungsquerschnittsanpassung zur Druckverlustreduzierung die Übergangsstrukturen zur gezielten Bildung von Strömungswirbeln innerhalb des Kühlfüssigkeitsstroms dienen, die bei geeigneter Positionierung und Dimensionierung zu einer Verbesserung der Strömungseigenschaften der Kühlfüssigkeit durch die Mikrostrukturwärmenenke beitragen können.

Die Erfindung soll unter Verwendung eines Ausführungsbeispiels ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens anhand der nachstehenden Figuren erläutert werden. Es zeigen:

Fig. 1 perspektivische Draufsicht auf eine Mikrokanalplatte mit den darunter befindlichen Zwischenplatten,

Fig. 2 perspektivische Draufsicht auf eine Sammelplatte mit den darunter befindlichen Zwischenplatten,

Fig. 3 Überlagerungsdarstellung von fünf erfindungsgemäß ausgebildeten Zwischenplatten,

Fig. 4a und b Draufsicht auf eine Grund- und Deckelplatte,

Fig. 5 Verlauf des Strömungsquerschnittes in einer Wärmenenke und

Fig. 6 Druckverlustkennlinien von Standard- und optimierten Mikrostrukturwärmenenken

Die in Fig. 1 dargestellte Mikrostrukturwärmenenke besteht im gezeigten Ausführungsbeispiel aus einer Grundplatte 1, einer Sammelplatte 2, fünf Zwischenplatten 3 bis 7 sowie einer Mikrokanalplatte 8.

Auf die Deckelplatte ist im gezeigten Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 verzichtet worden, wodurch eine perspektivische Einsicht in den inneren Aufbau der Mikrostrukturwärmenenke möglich ist. Die Grund- und Deckelplatte 1 und 13 sind in den Fig. 4a und 4b dargestellt und weisen jeweils eine Öffnung auf, die sogenannte Zulauföffnung 9 bzw. die Ablauföffnung 12.

Im dargestellten Beispiel der Fig. 1 wird Kühlfüssigkeit durch die Zulauföffnung 9 der Grundplatte 1 senkrecht zur Zeichenebene von unten nach oben in die Mikrokanalwärmenenke eingeleitet und durch die nicht dargestellte Deckelplatte in Richtung der stufenförmigen Kontur (siehe Pfeil) umgelenkt.

Die Kühlfüssigkeit fließt über die aufsteigende Treppenstruktur, die sich aus der Übereinanderschichtung der Zwischenplatten 3 bis 7 ergibt, auf die oberste Zwischenplatte 6 an der sie durch die nicht dargestellte Deckelplatte nach vorne in Richtung der Mikrokanäle 10 umgelenkt wird. Die Mikrokanäle 10 sind als eine Art Kammstruktur ausgebildet, in deren Zwischenräume die Kühlfüssigkeit eindringen kann. Im hinteren Bereich der Kammstruktur ist unter dieser ein rechteckiger Durchgangskanal 11 vorgesehen, der zum einen alle Zwischenplatten 3 bis 7 durchsetzt und in der Ebene der Sammelplatte 2 mündet. Wie später zu Fig. 2 ausgeführt wird, wird die durch den rechteckigen Durchgangskanal 11 nach unten abfließende Kühlfüssigkeit durch die Grundplatte 1 in der Ebene der Sammelplatte nach vorn umgelenkt, so daß die Kühlfüssigkeit durch den in Fig. 1 dargestellten Austrittskanal 12 nach oben senkrecht zur Zeichenebene wieder austritt. Zusätzlich zu den Zwischenplatten 3 bis 7 weist auch die Sammelplatte 2 einen Verbindungskanal mit einer Übergangsstruktur als Kante auf, vergleichbar zu dem aus Fig. 1 entnehmbaren Verbindungskanal der Mikrokanalplatte 8 (siehe Öffnung des Austrittskanals 12).

Erfindungsgemäß weisen zumindest die Zwischenplatten

Übergangskonturen auf, die für die, die Mikrostrukturwärmesenke durchfließende Kühlflüssigkeit eine Strömungsquerschnittsveränderung bewirken. Durch diese in der Fig. 1 sich treppenförmig ergebende Kontur aus der Übereinanderfügung der Zwischenplatten 3 bis 7 wird der Eintrittsquerschnitt, der sich ergibt in Fig. 1 entlang der Schnittlinie A in Blickrichtung zur Treppenstruktur (siehe hierzu auch eingetragene Pfeilrichtung) sukzessive verringert, bis hin zum flach verlaufenden Strömungsquerschnitt oberhalb der Zwischenplatte 7, der sich nunmehr ausschließlich aus der Höhe  $h$  der Mikrokanäle sowie deren Gesamtbreite  $b$  ergibt. So wird der Eintrittsquerschnitt im Bereich der Zulauföffnung, der in aller Regel eine Breite von 5 mm und eine Höhe von 9 mm aufweist, durch die erfindungsgemäße Treppenstruktur sukzessive auf den Strömungsquerschnitt im Bereich der Mikrostrukturplatte mit Abmessungen von einer Breite von 10 mm und eine Höhe von 0,3 mm reduziert. Zwar wäre eine kontinuierliche Überführung der Querschnitte der theoretisch optimale Weg, jedoch ist dieser aufgrund der Lagenstruktur nicht möglich. Um die Querschnitte trotz Lagenstruktur möglichst optimal zu verbinden, werden die wasserführenden Strukturen innerhalb des Verbindungskanals derart ausgeführt, daß die Unterschiede der einzelnen Strömungsquerschnitte nur gering ausfallen. Durch die Vorschung einer größeren Anzahl von wasserführenden Zwischenplatten kann der Unterschied zwischen den einzelnen Querschnitten verkleinert werden, um so der idealen Strömungsführung möglichst nahezukommen. Eine größere Anzahl von Zwischenplatten kann entweder durch eine größere Gesamthöhe des Kühlers oder durch eine Verkleinerung der Plattenstärke erzielt werden.

Neben der Erkenntnis, daß Druckverluste durch eine stufenweise Anpassung der Strömungsquerschnitte reduziert werden können, verursachen die einzelnen Stufenabschnitte lokale Verwirbelungen innerhalb der Kühlflüssigkeit, die gezielt zu einer optimalen Strömungsführung beitragen können.

In der gleichen Weise, wie der Eintrittsquerschnitt stufenweise an den Strömungsquerschnitt in der Mikrokanalplatte angenähert wird, ist in Fig. 2 dargestellt, daß in ähnlicher Weise in der Ebene der Sammelplatte 2 der Druckverlust in der Strömungsrückführung ebenso durch stufenweise Anpassung der Strömungsquerschnitte reduziert werden kann. In Fig. 2 ist die Draufsicht auf die Sammelplatte 2 dargestellt, wobei die Grundplatte 1 für den Einblick in die innere Struktur weggelassen ist. Die unterste Lage bildet nun die Deckelplatte 13. Die Ansicht der in Fig. 2 dargestellten Mikrostrukturwärmesenke ergibt sich aus der umgekehrten Draufsicht verglichen mit der Darstellung in Fig. 1.

Die Kühlflüssigkeit tritt in der in Fig. 2 dargestellten Ansicht senkrecht nach oben aus der Zeichenebene aus der rechteckigen Öffnung 11 heraus. Aufgrund der nicht dargestellten Grundplatte 1 wird die Kühlflüssigkeit entlang des Sammelkanals 14 in Richtung der abfallenden Stufenstruktur abgelenkt (siehe Pfeilrichtungen). Die Stufenstruktur setzt sich wiederum zusammen aus der Übereinanderfügung der entsprechend ausgebildeten Zwischenplatten 3 bis 7 sowie der untersten Mikrostrukturplatte 8. Die Kühlflüssigkeit fließt sodann durch den Öffnungsbereich 12 senkrecht nach unten aus der Zeichenebene.

Zur besseren Sichtbarmachung der Strukturierung jeder der einzelnen Zwischenplatten 3 bis 7 ist in Fig. 3 eine Darstellung in Überlagerungstechnik gezeigt. Die einzelnen Zwischenplatten sind dabei von der Zwischenplatte 3 bis 7 von links nach rechts um ein Stück versetzt übereinandergezeichnet dargestellt. Zu erkennen sind die stufenweise vergrößerten Verbindungskanäle für den Zulaufbereich (3', 4', 5', 6', 7') sowie für den Ablaufbereich (3'', 4'', 5'', 6'', 7'') so-

wie die rechteckige Öffnung 11 in jeder einzelnen Zwischenplatte.

In Fig. 4a ist die Grundplatte 1 mit der Zulauföffnung 9 und in Fig. 4b ist die Deckelplatte 13 mit der Ablauföffnung 12 dargestellt.

Mit der erfindungsgemäßen Ausgestaltung der Zwischenplatten und den sich daraus ergebenden Versorgungsstrukturen bzw. Verbindungskanälen wird es ermöglicht, unter Beibehaltung der äußeren Geometrie der Wärmesenken und unter Verwendung der bisher verwendeten Mikrostrukturen den Druckverlust einer einzelnen Wärmesenke um eine Größenordnung zu senken. Damit ist ein Betrieb des Diodenlasers mit einfachen und preiswerten Peripherie-Aggregaten zur Kühlung möglich geworden. Alternativ kann unter Beibehaltung der bisher verwendeten Kühlaggregate der Durchfluß durch eine Wärmesenke erheblich gesteigert und der Wärmeübergangskoeffizient, und damit der thermische Gesamtwiderstand, wesentlich verbessert werden.

Durch speziell aufeinander abgestimmte und strukturierte Zwischenplatten kann die bisher verwendete Lagentechnik ohne die eingangs erwähnten strömungsmechanischen Nachteile beibehalten werden.

Mikrostrukturkühler nach dem Stand der Technik haben, bei einer abzutransportierenden Wärme von 70 Watt, folgende typische Betriebsdaten:

- Druckverlust: 5 bar
- Durchfluß: 500 ml/min
- Wärmeübergangskoeffizient: 87500 W/m<sup>2</sup>K
- Temperaturerhöhung: 29,99 K
- Thermischer Gesamtwiderstand: 0,43 K/W

(bezogen auf die Aufstandsfläche des Diodenlaserbarrens)

Mikrostrukturkühler mit der erfindungsgemäßen Versorgungsstruktur haben bei 70 Watt Verlustwärme entweder folgende Betriebsdaten:

- Druckverlust 0,5 bar
- Durchfluß 500 ml/min
- Wärmeübergangskoeffizient: 87500 W/m<sup>2</sup>K
- Temperaturerhöhung: 29,99 K
- Thermischer Gesamtwiderstand: 0,43 K/W

(bezogen auf die Aufstandsfläche des Diodenlaserbarrens) oder:

- Druckverlust 5 bar
- Durchfluß 1200 ml/min
- Wärmeübergangskoeffizient: 200000 W/m<sup>2</sup>K
- Temperaturerhöhung: 21,7 K
- Thermischer Gesamtwiderstand: 0,31 K/W

(bezogen auf die Aufstandsfläche des Diodenlaserbarrens)

Mit der erfindungsgemäßen Ausführung der Mikrostrukturwärmesenken kann die Ursache für die strömungsmechanischen Widerstände der Versorgungsstruktur deutlich gesenkt werden. Neben der Reduzierung der Verluste durch Umlenkungen und unstetige Querschnittsänderungen konnte auch eine insgesamt geringere Strömungslänge realisiert werden, welches eine Reduzierung der Reibungsverluste zur Folge hat (siehe hierzu Fig. 5).

Der Diagrammverlauf gemäß der durchgezogenen Linie entspricht dem Strömungsquerschnitt bezogen auf die Strömungslänge durch eine Standard-Mikrostrukturwärmesenke. Der gepunktete Graph entspricht einer erfindungsgemäß optimierten Mikrostrukturwärmesenke. Die Pfeile geben jeweils den Bereich der Mikrokanäle an.

Durch die Reduzierung der Strömungswiderstände kann

also entweder bei einem Durchfluß von 500 ml/min und einem thermischen Gesamtwiderstand von 0,43 K/W der Druckverlust um den Faktor 10 gesenkt werden oder aber bei einem unveränderten Druckverlust der thermische Gesamtwiderstand auf 0,31 K/W gesenkt werden.

5

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Kühlen von elektronischen Bauelementen, die als eine Mikrostrukturwärmesenke ausgebildet ist und eine Vielzahl von Einzelschichten aufweist und wenigstens

- eine Mikrokanalplatte (8) mit einer Vielzahl von Mikrokanälen (10),
- eine Zwischenplatte (3) und
- eine Sammelplatte (2),

15

vorsieht, wobei nach Aufeinanderfügen der Sammelplatte (2), Zwischenplatte (3) und Mikrokanalplatte (8) sowie dem Vorsehen einer, die Einzelschichten abdeckenden Grund- (1) und Deckelplatte (13), abgeschlossene Zu- und Ablauf-Kühlkanäle entstehen, durch die ein Kühlmedium leitbar ist, wobei das Kühlmedium durch eine Zulauföffnung (9) in die Mikrostrukturwärmesenke hineingeleitet und durch eine Ablauföffnung (12) aus dieser wieder hinausgeleitet wird,

25

wobei in der Grundplatte (1) die Zulauföffnung (9) vorgesehen ist, an die sich ein Zulauf-Kühlkanal anschließt, der einerseits durch die Grundplatte (1) und andererseits durch die Deckelplatte (13) sowie die dazwischen befindliche Sammelplatte (2), Zwischenplatte (3) und Mikrokanalplatte (8) begrenzt ist, wobei die Sammelplatte (2) sowie die Zwischenplatte (3) im Zulauf-Kühlkanal jeweils eine Öffnung als Verbindungskanal mit einer stufenhaften und/oder abgeschrägten Kante aufweisen, die die Höhe des Zulauf-Kühlkanals durch den Betrag ihrer Dicken verkleinern, und

35

die zwischen der Zwischenplatte (3) und Deckelplatte (13) eingebrachte Mikrokanalplatte (8) kammartig ausgebildete Mikrokanäle vorsieht, die unmittelbar an den durch die Mikrokanalplatte (8) und die Deckelplatte (13) begrenzten Zulauf-Kühlkanal anschließen, wobei ferner ein die Zwischenplatte (3) durchsetzender Durchgangskanal (11) vorgesehen ist, der unmittelbar an die kammartig ausgebildeten Mikrokanäle (10) angrenzt und in der Ebene der Sammelplatte (2) mündet, und im Anschluß an den Durchgangskanal (11) der Ablauf-Kühlkanal in der Ebene der Sammelplatte (2) durch die Zwischenplatte (3) und die Grundplatte (13) begrenzt ist, und wobei schließlich die Zwischenplatte (3) sowie die Mikrokanalplatte (8) im Ablauf-Kühlkanal jeweils eine weitere Öffnung als Verbindungskanal mit einer stufenhaften und/oder abgeschrägten Kante aufweisen, die die Höhe des Ablauf-Kühlkanals durch den Betrag ihrer Dicken vergrößern, und in der Deckelplatte (13) die Ablauföffnung (12) vorgesehen ist, die sich an den Ablauf-Kühlkanal anschließt.

40

45

50

55

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Zwischenplatten (3-7) vorgesehen sind, deren einzelne Öffnungen unterschiedlich groß ausgebildet sind, und daß die unterschiedlichen Größen der Öffnungen derart aufeinander abgestimmt sind, so daß sich nach Übereinanderfügen der Zwischenplatten (3-7) eine Stufenfolge mit gleichbleibendem oder unterschiedlich großem Stufenabstand ergibt.

65

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Kanten der Öffnungen der Zwischenplatten (3-7) geradlinig oder gebogen verlaufen.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das elektronische Bauelement eine Hochleistungslaserdiode ist.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

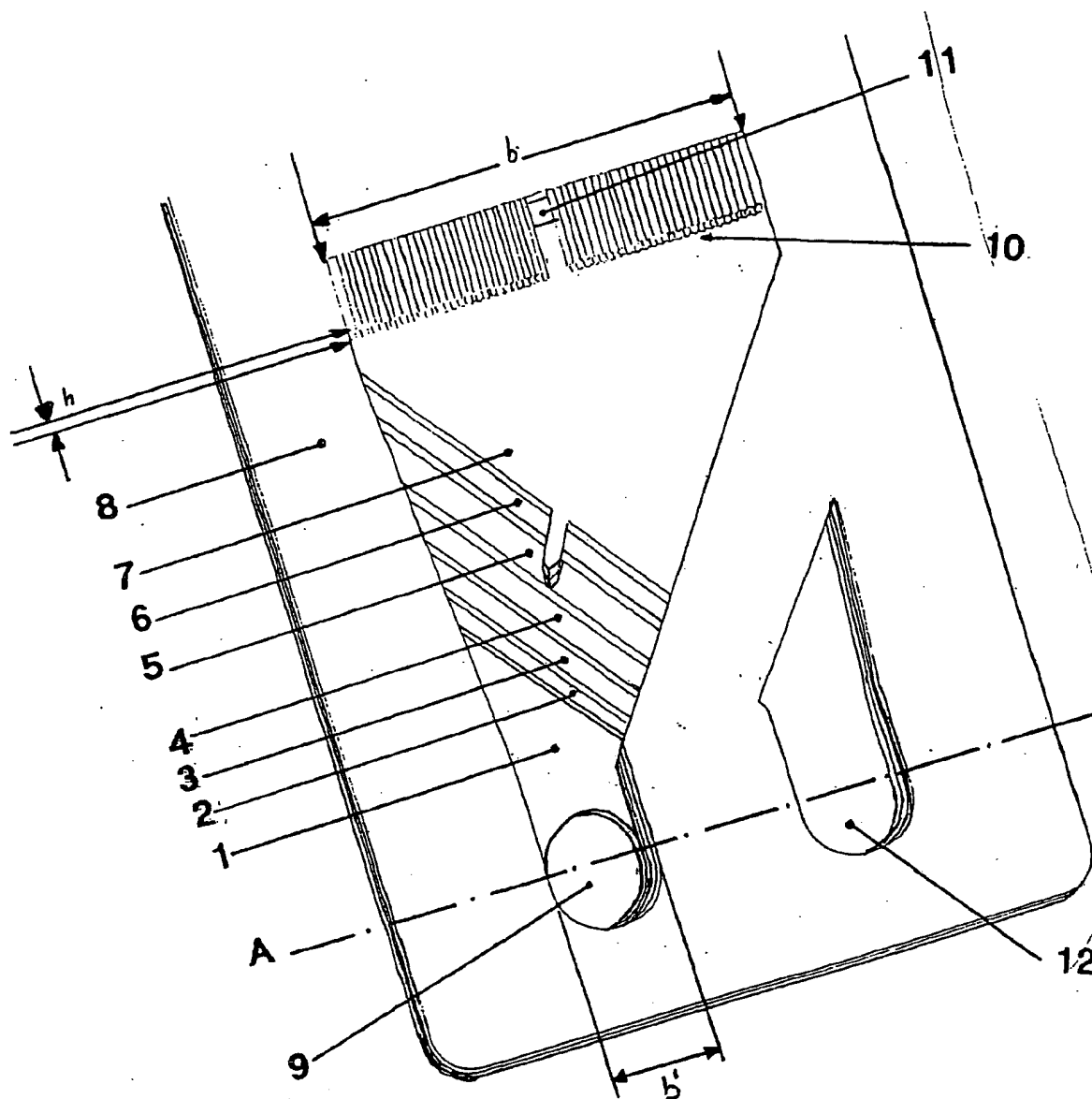


Fig. 1

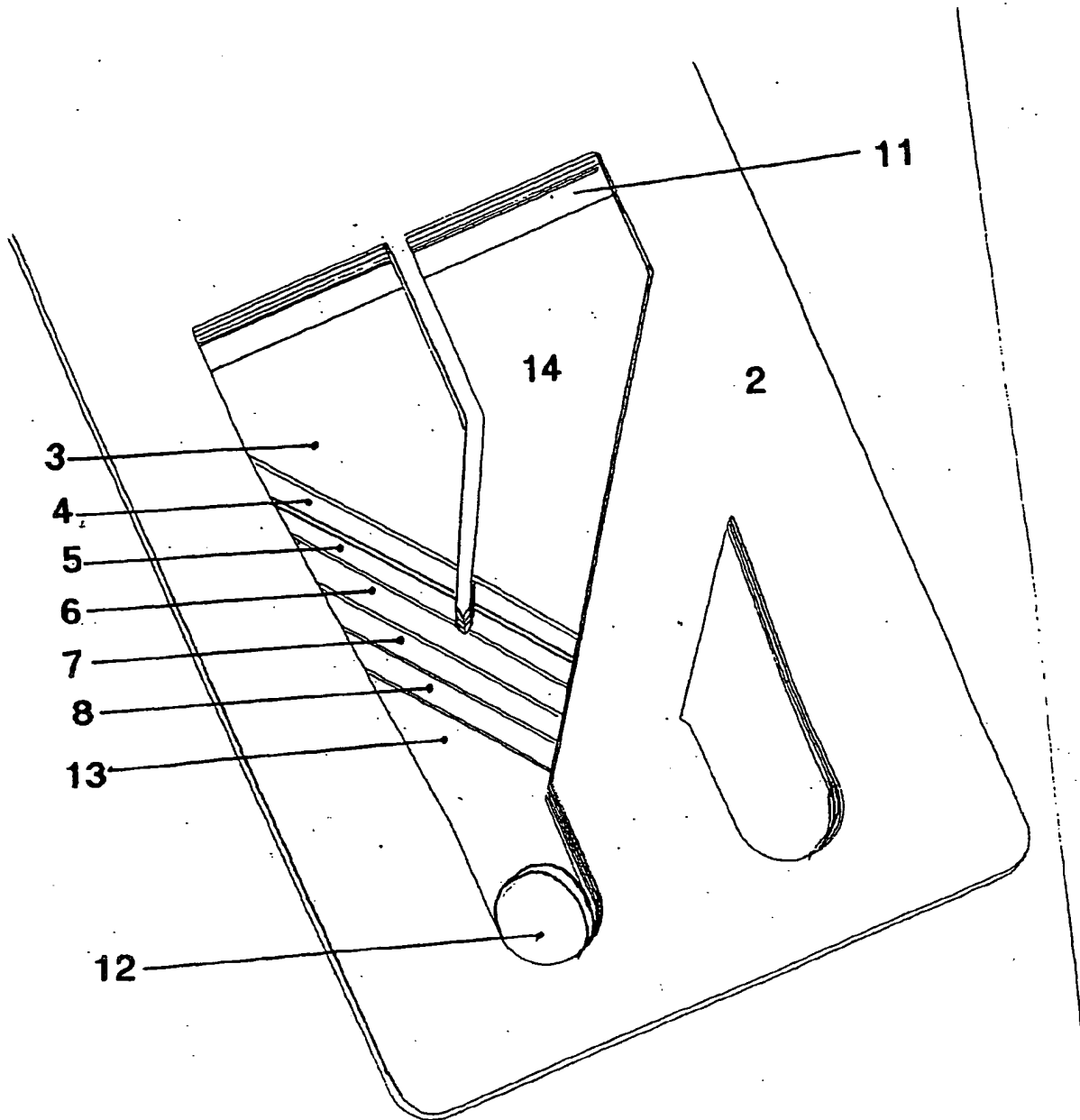
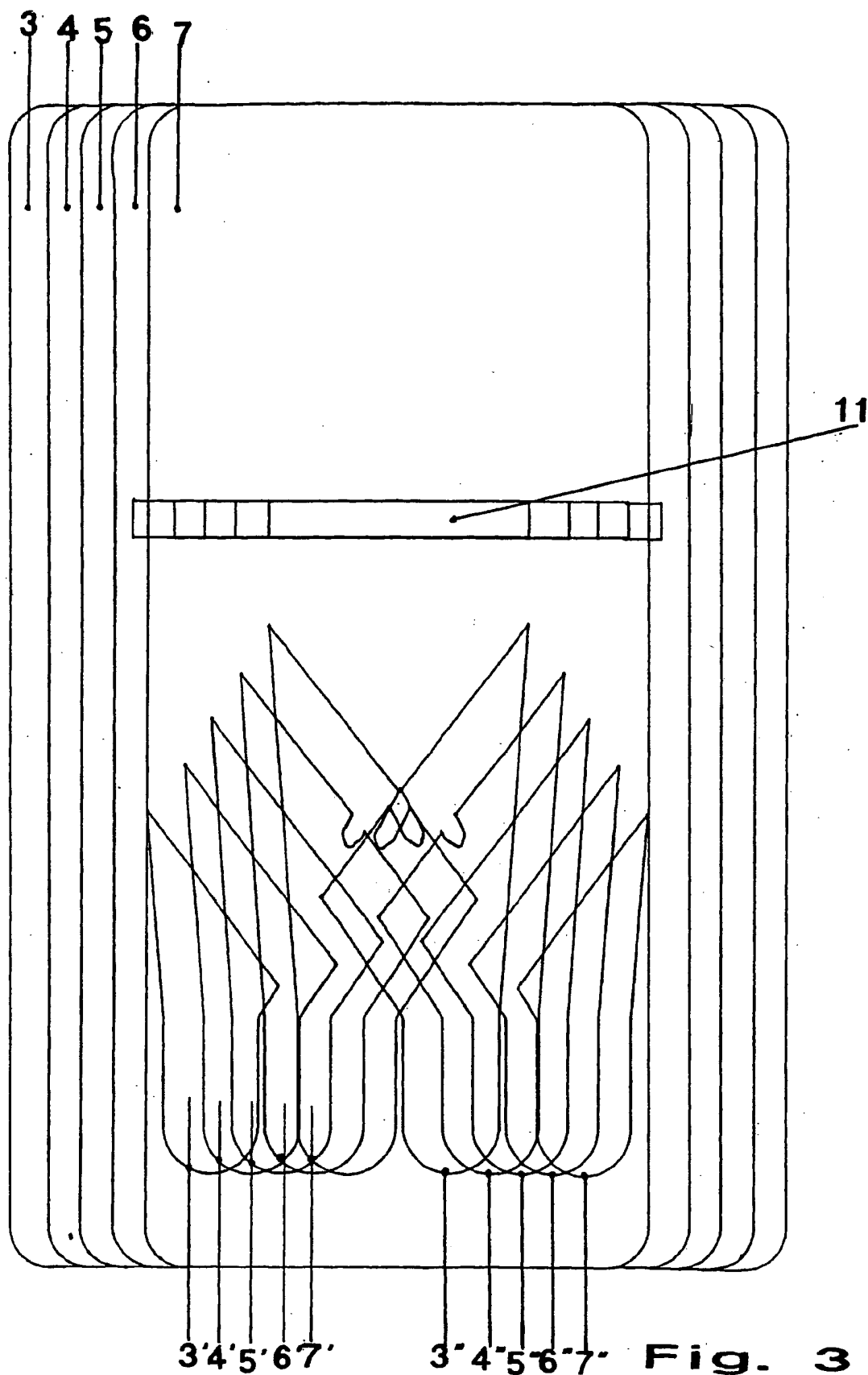
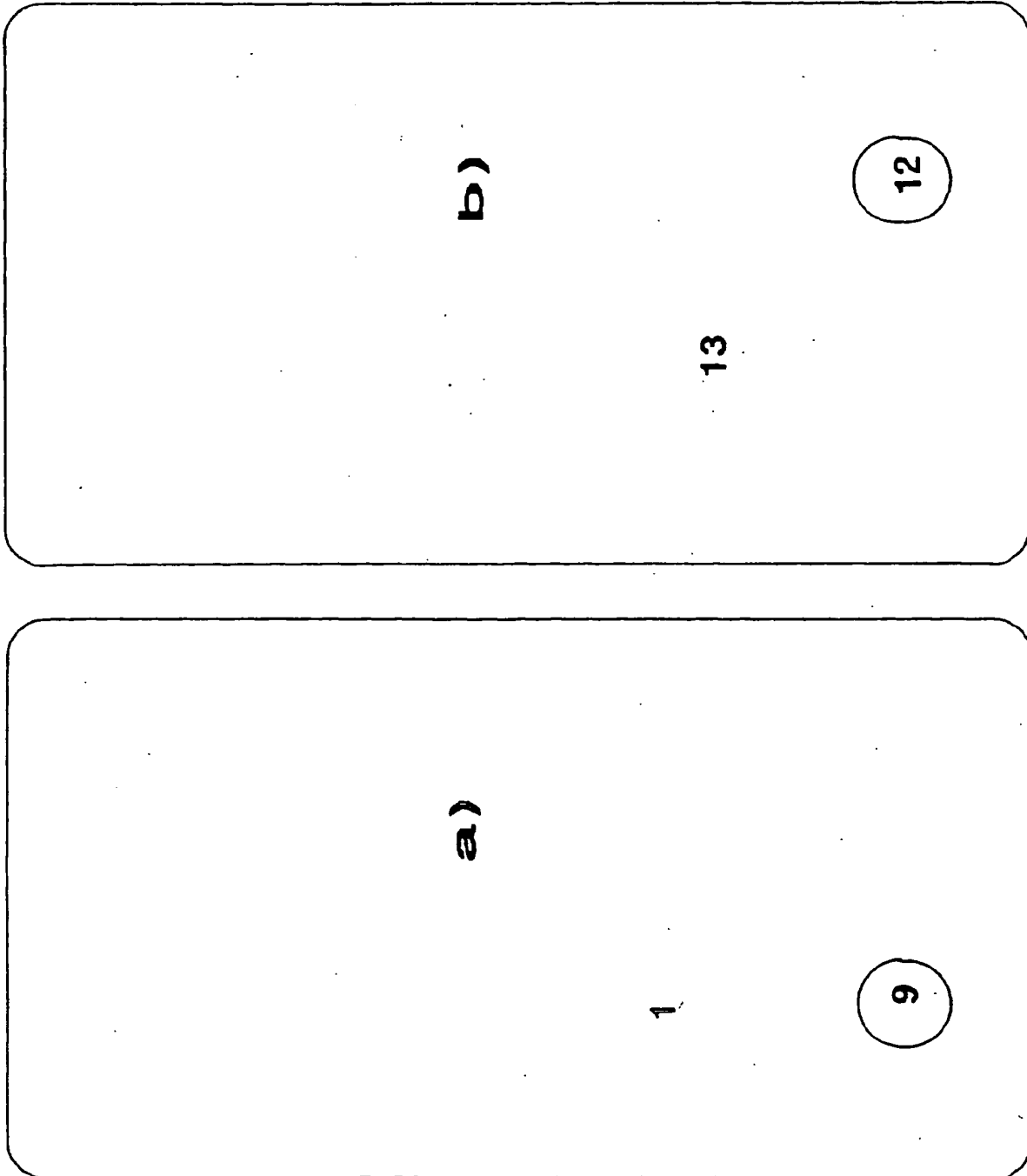


Fig. 2







**Fig. 4**

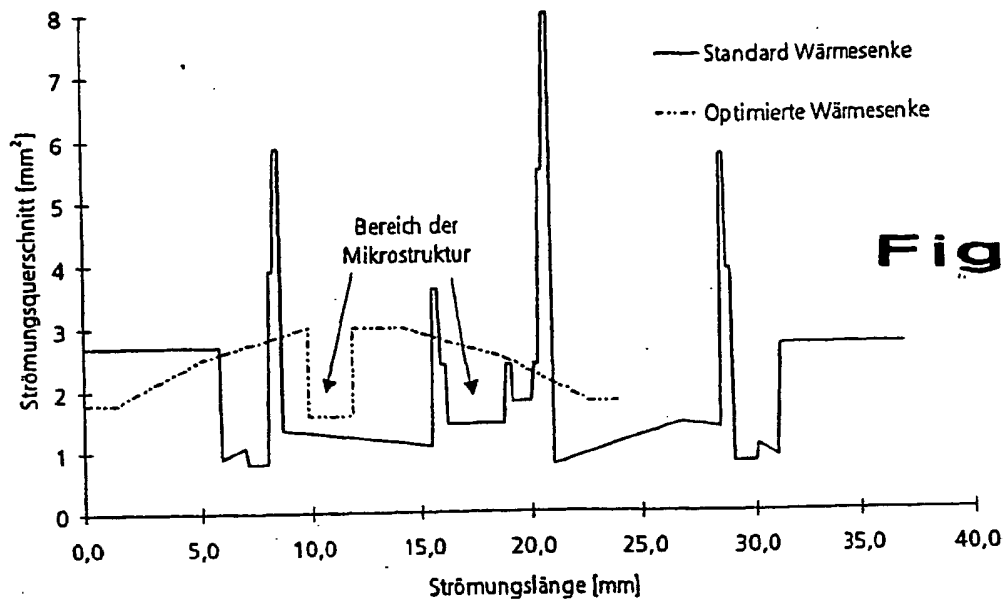


Fig. 5

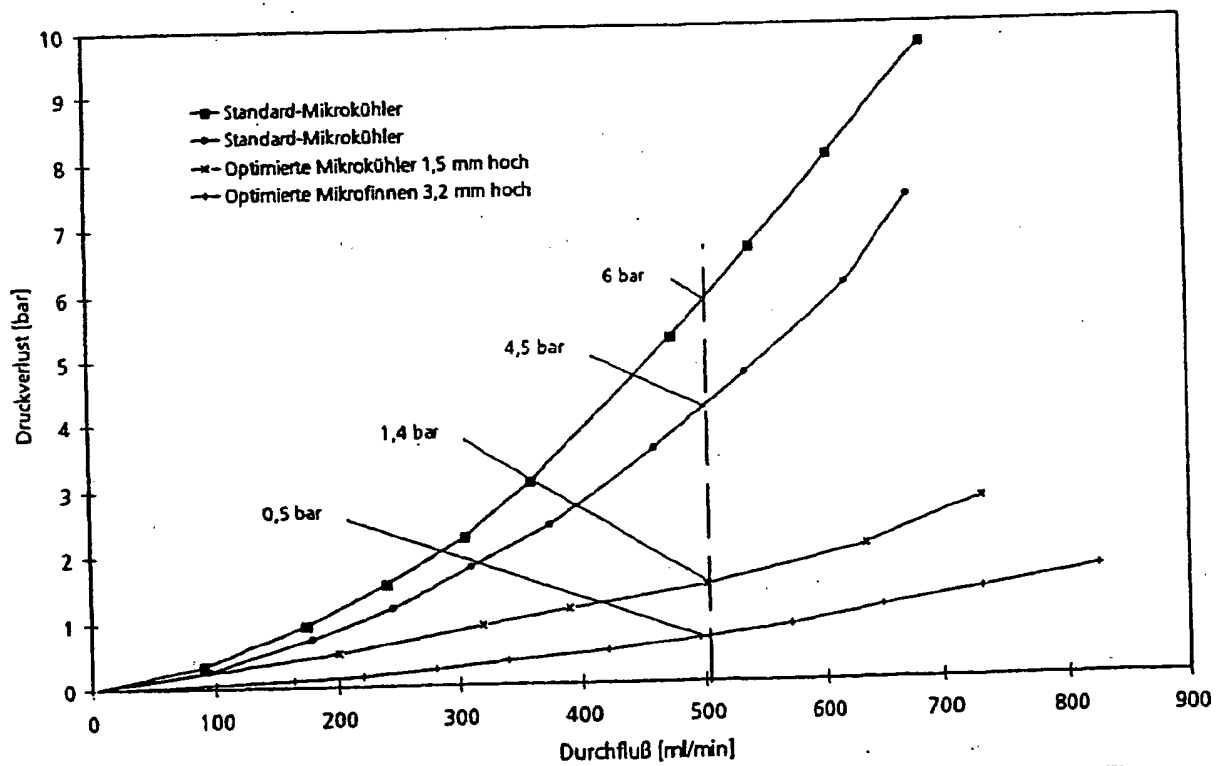


Fig. 6

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**This Page Blank (uspto)**